

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

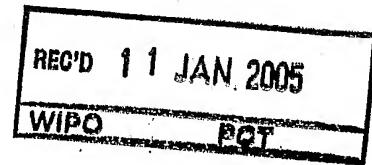


30 DEC 2004

PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung



Aktenzeichen: 103 60 962.8

Anmeldetag: 23. Dezember 2003

Anmelder/Inhaber: LITEF GmbH, 79115 Freiburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel sowie dafür geeigneter Corioliskreisel

IPC: G 01 C 19/56

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. Dezember 2004
Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag



Faust

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER - PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17

D-81667 München

Anwaltsakte: 54.955

Mü/My/cp

Mandantenaz.: LTF-206-DE

23.12.2003

LITEF GmbH

Lörracher Str. 18

D-79115 Freiburg

**Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel
sowie dafür geeigneter Corioliskreisel**

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel sowie einen dafür geeigneten Corioliskreisel.

5

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Jedes Massensystem hat in der Regel eine Vielzahl von Schwingungsmoden, die zunächst voneinander unabhängig sind. Zum Betrieb des Corioliskreisels wird

10 ein bestimmter Schwingungsmodus des Massensystems künstlich angeregt, der im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Wenn der Corioliskreisel gedreht wird, treten Corioliskräfte auf, die der Anregungsschwingung des Massensystems Energie

entnehmen und damit einen weiteren Schwingungsmodus des Massensystems, der im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet wird, übertragen. Um Drehungen des

15 Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-

20 System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise Null – rückgestellt, und die Rückstellkräfte gemessen.

25

Das Massensystem des Corioliskreisels (das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird) kann hierbei unterschiedlichst ausgestaltet sein. Beispielsweise ist es möglich, ein einstückig ausgebildetes Massensystem zu verwenden. Alternativ ist es möglich, das Massensystem in zwei Schwinger aufzuteilen, die miteinander über ein Federsystem gekoppelt sind und Relativbewegungen zueinander ausführen können. Beispielsweise ist es bekannt, ein gekoppeltes System aus zwei linearen Schwingern zu verwenden, das auch als lineares Doppelschwingersystem bezeichnet wird. Verwendet man ein derartiges ge-

30 koppeltes System, so sind aufgrund von Fertigungstoleranzen Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander unvermeidlich. Die Fehlausrichtungen der beiden Schwinger zueinander erzeugen einen Nullpunktfehleranteil im gemessenen Drehratensignal, den sogenannten "Quadraturbias" (genauer gesagt: einen Quadraturbias-Anteil).

35 Die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe ist es, ein Verfahren und einen Corioliskreisel anzugeben, mit dem ein derartiger Quadraturbiasanteil kompensiert werden kann.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation für einen Resonator mit zwei linearen Schwingern gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Weiterhin stellt die Erfindung eine dafür geeignete Ausführungsform eines Corioliskreisels gemäß Patentanspruch 6 bereit. Eine weitere geeignete Ausführungsform eines Corioliskreisels findet sich in Patentanspruch 12. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

Um ein besseres Verständnis des technischen Hintergrunds des erfindungsgemäßen Verfahrens zu bekommen, sei in der folgenden Beschreibung nochmals kurz auf die physikalischen Grundlagen eines Corioliskreisels anhand des Beispiels eines linearen Doppelschwingersystems eingegangen.

Die Corioliskraft lässt sich darstellen als:

15

$$\vec{F} = 2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} \quad (1)$$

\vec{F} Corioliskraft

m Masse des Schwingers

\vec{v}_s Geschwindigkeit des Schwingers

20

$\vec{\Omega}$ Drehrate

Ist die auf die Corioliskraft reagierende Masse gleich der schwingenden Masse und wird der Swinger mit der Eigenfrequenz ω betrieben, so gilt:

25

$$2m\vec{v}_s \times \vec{\Omega} = m\vec{a}_c \quad (2)$$

Für die Schwingergeschwindigkeit gilt:

30

$$\vec{v}_s = \vec{v}_{s0} \sin \omega t \quad (3)$$

mit

\vec{v}_{s0} Schwingeramplitude

ω Eigenfrequenz des Schwingers

Somit gilt für die Swinger- und Coriolisbeschleunigungen:

35

$$\vec{a}_s = \vec{v}_{s0} \omega \cos \omega t$$

$$\vec{a}_c = 2\vec{v}_{s0} \sin \omega t \times \vec{\Omega} \quad (4)$$

Damit stehen die beiden Beschleunigungsvektoren räumlich senkrecht aufeinander und sind in der Zeitfunktion um 90° gegeneinander versetzt (räumliche und zeitliche Orthogonalität).

Diese beiden Kriterien können benutzt werden, um die Schwingbeschleunigung \vec{a}_s von der Coriolisbeschleunigung \vec{a}_c zu trennen. Das Verhältnis der o. g. Beschleunigungsamplituden a_c und a_s beträgt:

10

$$\frac{a_c}{a_s} = \frac{2\Omega}{\omega} \quad (5)$$

Für eine Drehrate $\Omega = 5^\circ/\text{h}$ und eine Eigenfrequenz des Schwingers $f_s = 10 \text{ KHz}$ ergibt sich:

15

$$\frac{a_c}{a_s} = 7,7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

Für eine Genauigkeit von $5^\circ/\text{h}$ dürfen unerwünschte Kopplungen des ersten Schwingers auf den zweiten Schwingen höchstens $7,7 \cdot 10^{-10}$ betragen oder auf diesem Wert konstant sein. Verwendet man ein Massensystem aus zwei linearen Schwingern, die über Federlemente miteinander gekoppelt sind, so ist die Genauigkeit der räumlichen Orthogonalität aufgrund der Fehlausrichtung der Federelemente zwischen Schwing- und Messmode begrenzt. Die erreichbare Genauigkeit (durch Fertigungstoleranzen begrenzt) beträgt 10^{-3} bis 10^{-4} . Die Genauigkeit der zeitlichen Orthogonalität wird durch die Phasengenauigkeit der Elektronik bei z. Bsp. 10 KHz begrenzt, die ebenfalls nur auf höchstens 10^{-3} bis 10^{-4} einzuhalten ist. Daraus folgt, dass das oben definierte Verhältnis der Beschleunigungen nicht eingehalten werden kann.

Realistisch ergibt sich ein Fehler des gemessenen Beschleunigungsverhältnisses a_c/a_s von

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ bis } 10^{-8} \quad (7)$$

Der räumliche Fehler resultiert in einem sogenannten Quadraturbias B_Q , der mit dem zeitlichen Phasenfehler Δ_ϕ einen Bias B ergibt:

$$B_Q = 6,5 \cdot 10^6 \text{ } ^\circ/\text{h} \text{ bis } 6,5 \cdot 10^5 \text{ } ^\circ/\text{h}$$

5

$$\Delta_\phi = 10^{-3} \text{ bis } 10^{-4} \quad (8)$$

$$B = B_Q \cdot \Delta_\phi = 6.500 \text{ } ^\circ/\text{h} \text{ bis } 65 \text{ } ^\circ/\text{h}$$

10 Somit bewirkt der Quadraturbias eine starke Einschränkung der Messgenauigkeit. Dabei ist anzumerken, dass o. g. Fehlerbetrachtung nur die direkte Kopplung vom Schwing- in den Auslesemodus berücksichtigt. Es existieren noch weitere Quadraturbiasanteile, die beispielsweise durch Kopplungen mit anderen Schwingungsmoden entstehen.

15 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation lässt sich insbesondere auf Corioliskreisel anwenden, deren Resonatoren als gekoppelte Systeme aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Swinger ausgestaltet sind, und weist die folgenden Schritte auf:

20 - Ermitteln des Quadraturbias des Schwingersystems, und
- Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Swinger zueinander, wobei die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

25 Hierbei wird vorzugsweise der gesamte Quadraturbias des Schwingersystems ermittelt. Dies erfolgt vorzugsweise durch Demodulation eines durch Ausleseelektroden erzeugten Auslesesignals mit 0° und entsprechender Rückstellung. Alternativ ist es möglich, gezielt nur den Teil des Quadraturbias zu ermitteln, der durch die Fehlausrichtung der beiden linearen Swinger zueinander bewirkt wird. Der Begriff "Quadraturbias" beinhaltet beide Alternativen.

30 Der Quadraturbias wird also am Entstehungsort selbst eliminiert, d. h. mechanische Fehlausrichtungen der beiden Swinger zueinander werden durch eine elektrostatische Kraft, die auf einen oder beide Swinger wirkt und durch das elektrostatische Feld erzeugt wird, kompensiert.

35 In einer bevorzugten Ausführungsform weist der Corioliskreisel erste und zweite Feder- elemente auf, wobei der erste Swinger durch die ersten Federelemente mit einem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbunden ist, und der zweite Swinger durch die zwei-

ten Federelemente mit dem ersten Schwinger verbunden ist. Das elektrostatische Feld bewirkt hierbei eine Änderung der Ausrichtung der ersten Federelemente und/oder eine Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente. Vorzugsweise wird die Ausrichtung der zweiten Federelemente geändert, indem die Position/Ausrichtung des zweiten 5 Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Analog hierzu wird die Ausrichtung der ersten Federelemente vorzugsweise dadurch geändert, dass die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert wird. Die Änderung der Positionen/Ausrichtungen der Schwingen bewirken hierbei eine Verbiegung der Federelemente, die an den Schwingern befestigt sind, womit entsprechende 10 Ausrichtungswinkel der ersten zu zweiten Federelementen korrigiert werden können.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden durch das elektrische Feld die Ausrichtungswinkel der ersten und zweiten Federelemente so geändert, dass eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente zueinander bewirkt wird. Ist eine derartige Orthogonalisierung erreicht, so ist der dadurch erzeugte 15 Quadraturbias(anteil) kompensiert. Bei weiteren Beiträgen zum Quadraturbias wird der Fehlwinkel zur Orthogonalität so eingestellt, dass der gesamte Quadraturbias verschwindet. Vorzugsweise werden die Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente bezüglich 20 des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert, und die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente bezüglich des Kreiselrahmens des Corioliskreisels nicht geändert. Es ist jedoch auch möglich, durch das elektrostatische Feld lediglich die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente zu ändern, oder die Ausrichtungswinkel sowohl der ersten als auch der zweiten Federelemente zu ändern.

25 Das erfindungsgemäße Verfahren stellt ferner einen Corioliskreisel bereit, dessen Resonator als gekoppeltes System aus wenigstens einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger ausgestaltet ist, und der

- eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds, durch das die Ausrichtung der beiden Schwingen zueinander änderbar ist,
- eine Einrichtung zur Ermittlung eines Quadraturbias, der durch Fehlausrichtungen der beiden Schwingen zueinander und weiteren Kopplungsmechanismen verursacht wird, und
- einen Regelkreis aufweist, wobei der Regelkreis die Stärke des elektrostatischen 30 Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so regelt, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

35 Besteht der Resonator aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger, so weist der Corioliskreisel vorzugsweise erste und zweite Federelemente auf, wobei die ersten

Federelemente den ersten Schwinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, und die zweite Federelemente den zweiten Schwinger mit dem ersten Schwinger verbinden. Die Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente verlaufen hierbei vorzugsweise senkrecht zueinander. Die Federelemente können hierbei eine beliebige Form aufweisen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, den zweiten Schwinger am ersten Schwinger "einseitig" zu befestigen bzw. einzuspannen. "Einseitig eingespannt" kann hierbei sowohl wörtlich als auch in einem allgemeinen Sinn verstanden werden. Allgemein bedeutet "einseitig" befestigt bzw. eingespannt, dass die Krafteinleitung von dem ersten Schwinger auf den zweiten Schwinger im Wesentlichen von einer "Seite" des ersten Schwingers aus erfolgt. Wäre der Aufbau des Schwingersystems beispielsweise derart, dass der zweite Schwinger durch den ersten Schwinger eingerahmt wird und mit diesem durch zweite Federelemente verbunden ist, so würde einseitig eingespannt bzw. befestigt folgendes implizieren: der zweite Schwinger wird der Bewegung des ersten Schwingers nachgeführt, indem der erste Schwinger den zweiten Schwinger mittels der zweiten Federelemente abwechselnd "schiebt" oder "zieht". Ein einseitiges Einspannen des zweiten Schwingers am ersten Schwinger hat den Vorteil, dass bei Ausüben einer elektrostatischen Kraft auf den zweiten Schwinger aufgrund der dadurch resultierenden Ausrichtungs-/Positionsänderung des zweiten Schwingers die zweiten Federelemente leicht verbogen werden können und damit der entsprechende Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente problemlos geändert werden kann. Wäre in diesem Beispiel der zweite Schwinger an zusätzlichen zweiten Federelementen aufgehängt derart, dass bei einer Bewegung des ersten Schwingers der zweite Schwinger durch die zweiten Federelemente gleichzeitig "gezogen" und "geschoben" würde, so läge eine "zweiseitige" Einspannung bzw. Befestigung des zweiten Schwingers an dem ersten Schwinger vor (Krafteinleitung auf den zweiten Schwinger von zwei gegenüberliegenden Seiten des ersten Schwingers aus). In diesem Fall würden die zusätzlichen zweiten Federelemente bei Anlegen eines elektrostatischen Felds entsprechende Gegenkräfte erzeugen, so dass Änderungen der Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente nur schwer erzielbar wären. Eine zweiseitige Einspannung ist jedoch dann akzeptabel, wenn die zusätzlichen zweiten Federelemente so ausgelegt sind, dass der Einfluss dieser Federelemente gering ist und somit auch hier eine problemlose Verbiegung aller Federelemente erfolgen kann, also effektiv eine einseitige Einspannung vorliegt. Je nach Auslegung der Schwingerstruktur kann effektiv bereits eine einseitige Einspannung vorliegen, wenn der "Einfluss" (Krafteinleitung) der zusätzlichen zweiten Federelemente 40% oder weniger beträgt. Dieser Wert stellt jedoch keine Einschränkung der Erfindung dar, es ist auch denkbar dass der Einfluss der zweiten Federelemente mehr als 40% beträgt. Eine einseitige Einspannung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass alle zweiten Federelemente, die den zweiten Schwinger mit dem ersten

Schwinger verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind. Dabei sind alle Anfangs- und Endpunkte der zweiten Federelemente jeweils an den gleichen Seiten des ersten bzw. zweiten Schwingers befestigt. Die Anfangs- und Endpunkte der zweiten Federelemente können dabei vorteilhafterweise jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen, wobei die Achsen die zweiten Federelemente im rechten Winkel schneiden.

Ist der zweite Swinger einseitig am ersten Swinger befestigt bzw. eingespannt, so sind die ersten Federelemente vorzugsweise so ausgestaltet, dass diese den ersten Swinger am Kreiselrahmen zweiseitig einspannen (die Begriffe "einseitig" und "zweiseitig" sind hier analog zu verwenden). Alternativ hierzu ist es jedoch möglich, auch die ersten Federelemente so auszugestalten, dass sie den ersten Swinger einseitig einspannen. Beispielsweise können sämtliche erste Federelemente, die den ersten Swinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sein, wobei vorzugsweise die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen. Genauso ist es möglich, die Federelemente so auszugestalten, dass der erste Swinger am Kreiselrahmen einseitig eingespannt ist, und der zweite Swinger durch den ersten Swinger zweiseitig eingespannt wird. Auch ist es möglich, beide Schwinger zweiseitig einzuspannen. Für die Quadraturbiaskompensation hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenigstens einen der beiden Schwinger einseitig einzuspannen.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Corioliskreisels weist einen ersten und einen zweiten Resonator auf, die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Swinger ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator mit dem zweiten Resonator mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungssachse gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbare sind.

Diese Ausführungsform weist demnach ein Massensystem auf, das aus zwei Doppelschwingersystemen (d.h. aus zwei Resonatoren) bzw. aus vier linearen Schwiegern besteht. Das gegentaktige Schwingen der beiden Resonatoren zueinander bewirkt hierbei, dass bei entsprechender Ausgestaltung der beiden Resonatoren der Schwerpunkt des Massensystems erhalten bleibt. Dies hat zur Folge, dass das Schwingen des Massensystems keine externen Vibrationen erzeugen kann, die wiederum Störungen in Form von Dämpfungen/Reflexionen nach sich ziehen würden. Weiterhin haben externe Vibrationen und Beschleunigungen in Richtung der gemeinsamen Schwingungssachse keinen Einfluss auf die entlang

der gemeinsamen Schwingungsachse erfolgende gegentaktige Bewegung der beiden Resonatoren.

Die Kopplung des ersten Resonators mit dem zweiten Resonator kann beispielsweise über ein Federsystem erfolgen, das den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator verbindet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator über ein elektrostatisches Feld zu koppeln. Beide Kopplungen können allein oder in Kombination eingesetzt werden. Es ist ausreichend, wenn beide Resonatoren in einem gemeinsamen Substrat ausgebildet sind, so dass die mechanische Kopplung durch eine mechanische Feder-Verbindung gegeben ist, die durch das gemeinsame Substrat selbst gebildet wird.

Auch in dieser Ausführungsform weist der Corioliskreisel vorteilhafterweise eine Einrichtung zur Erzeugung von elektrostatischen Feldern, durch die die Ausrichtung der linearen Schwingen zueinander veränderbar ist, eine Einrichtung zur Ermittlung des Quadraturbias des Corioliskreisels, und Regelkreise, durch die die Stärken der elektrostatischen Felder so geregelt werden, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird, auf.

Die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators sind vorzugsweise identisch. In diesem Fall sind die beiden Resonatoren in vorteilhafter Weise achsensymmetrisch zueinander angeordnet bezüglich einer Symmetriearchse, die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse steht, d. h. der erste Resonator wird durch die Symmetriearchse auf den zweiten Resonator abgebildet.

Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus zwei linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Regelkreisen, die der Anregung des ersten Schwingers dienen.

Fig. 2 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus zwei linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Mess- und Regelkreisen für eine Drehrate Ω und einen Quadraturbias B_Q sowie den Hilfsregelkreisen zur Kompensation des Quadraturbias B_Q .

Fig. 3 eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus vier linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Mess- und Regelkreisen für

eine Drehrate Ω und einen Quadraturbias B_Q sowie den Hilfsregelkreisen zur Kompensation des Quadraturbias B_Q .

Fig. 4 eine Prinzipskizze einer bevorzugten Ausführungsform des in Fig. 3 gezeigten
5 Regelmoduls.

Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau eines linearen Doppelschwingers 1 mit entsprechenden Elektroden, sowie ein Blockschaltbild einer zugehörigen Auswerte-/Anregungselektronik 2. Der lineare Doppelschwinger 1 wird vorzugsweise mittels Ätzprozessen aus einer Siliziumscheibe hergestellt und weist einen ersten linearen Schwinger 3, einen zweiten linearen Schwinger 4, erste Federelemente 5₁ bis 5₄, zweite Federelemente 6₁ und 6₂ sowie Teile eines Zwischenrahmens 7₁ und 7₂ und eines Kreiselrahmens 7₃ und 7₄ auf. Der zweite Schwinger 4 ist innerhalb des ersten Schwingers 3 schwingbar gelagert und mit diesem über die zweiten Federelemente 6₁, 6₂ verbunden. Der erste Schwinger 3 ist mit dem Kreiselrahmen 7₃, 7₄ durch die ersten Federelemente 5₁ bis 5₄ und dem Zwischenrahmen 7₁, 7₂ verbunden.

Weiterhin sind erste Anregungselektroden 8₁ bis 8₄, erste Ausleseelektroden 9₁ bis 9₄, zweite Anregungselektroden 10₁ bis 10₄ sowie zweite Ausleseelektroden 11₁ und 11₂ vorgesehen. Sämtliche Elektroden sind mit dem Kreiselrahmen mechanisch verbunden, aber elektrisch isoliert. Unter "Kreiselrahmen" wird eine mechanische, nichtschwingende Struktur verstanden, in der die Schwinger "eingebettet" sind, beispielsweise der nichtschwingende Teil der Siliziumscheibe.

25 Wird der erste Schwinger 3 mittels der ersten Anregungselektroden 8₁ bis 8₄ zu einer Schwingung in X1-Richtung angeregt, so wird diese Bewegung durch die zweiten Federelemente 6₁, 6₂ auf den zweiten Schwinger 4 übertragen (abwechselndes "Ziehen" und "Schieben"). Durch die vertikale Ausrichtung der ersten Federelemente 5₁ bis 5₄ ist dem ersten Schwinger 3 eine Bewegung in der X2-Richtung verwehrt. Eine vertikale Schwingung kann jedoch aufgrund der horizontalen Ausrichtung der zweiten Federelemente 6₁, 6₂ durch den zweiten Schwinger 4 ausgeführt werden. Treten demnach entsprechende Corioliskräfte auf, so wird der zweite Schwinger 4 zu Schwingungen in der X2-Richtung angeregt.

35 Ein von den ersten Ausleseelektroden 9₁ bis 9₄ ausgelesenes, der X1-Bewegung des ersten Schwingers 3 proportionales Auslesesignal wird über entsprechende Verstärkerlemente 21, 22, und 23 einem Analog/Digital-Wandler 24 zugeführt. Ein entsprechend digitalisiertes Ausgangssignal des Analog/Digital-Wandlers 24 wird sowohl durch einen ersten Demodulator 25 und durch einen zweiten Demodulator 26 in entsprechende Aus-

gangssignale demoduliert, wobei die beiden Demodulatoren um 90° versetzt zueinander arbeiten. Das Ausgangssignal des ersten Demodulators 25 wird einem ersten Regler 27 zur Regelung der Frequenz der Anregungsschwingung (Schwingung des Massensystems 1 in X1-Richtung) zugeführt, dessen Ausgangssignal einen Frequenzgenerator 30 so steuert, dass das nach dem Demodulator 25 auftretende Signal auf Null geregelt wird. Analog hierzu wird das Ausgangssignal des zweiten Demodulators 26 auf einen konstanten Wert geregelt, der von der Elektronikkomponente 29 vorgegeben wird. Ein zweiter Regler 31 sorgt für die Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung. Die Ausgangssignale des Frequenzgenerators 30 und des Amplitudenreglers 31 werden durch einen Multiplizierer 32 miteinander multipliziert. Ein Ausgangssignal des Multiplizierers 32, das der auf die ersten Anregungselektroden 8₁ bis 8₄ zu gebenden Kraft proportional ist, beaufschlagt sowohl einen ersten Kraft-Spannungswandler 33 als auch einen zweiten Kraft-Spannungswandler 34, die aus dem digitalen Kraftsignal digitale Spannungssignale erzeugen. Die digitalen Ausgangssignale der Kraft-Spannungswandler 33, 34 werden über einen ersten und einen zweiten Digital/Analog-Wandler 35, 36 in entsprechende analoge Spannungssignale umgesetzt, die dann auf die ersten Anregungselektroden 8₁ bis 8₄ gegeben werden. Durch den ersten Regler 27 und den zweiten Regler 31 werden die Frequenz der Eigenfrequenz des ersten Schwingers 3 nachgeführt und die Amplitude der Anregungsschwingung auf einen bestimmten, vorgebbaren Wert eingestellt.

20 Treten Corioliskräfte auf, so wird die daraus resultierende Bewegung des zweiten Schwingers 4 in X2-Richtung (Ausleseschwingung) durch die zweiten Ausleseelektroden 11₁, 11₂ erfasst und ein der Bewegung der Ausleseschwingung in X2-Richtung proportionales Auslesesignal über entsprechende Verstärkerelemente 40, 41, und 42 einem Analog/Digital-Umwandler 43 zugeführt (siehe Fig. 2). Ein digitales Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 43 wird von einem dritten Demodulator 44 in Phase mit dem Direktbiassignal demoduliert, und durch einen vierten Demodulator 45 um 90° versetzt demoduliert. Ein entsprechendes Ausgangssignal des ersten Demodulators 44 beaufschlagt einen dritten Regler 46, dessen Ausgangssignal ein Kompensationssignal ist und der zu messenden Drehrate Ω entspricht. Ein Ausgangssignal des vierten Demodulators 45 beaufschlagt einen vierten Regler 47, dessen Ausgangssignal ein Kompensationssignal ist und dem zu kompensierenden Quadraturbias proportional ist. Das Ausgangssignal des dritten Reglers wird mittels eines ersten Modulators 48 moduliert, analog hierzu wird das Ausgangssignal des vierten Reglers 47 durch einen zweiten Modulator 49 moduliert, sodass amplitudengeregelte Signale entstehen, deren Frequenz der Eigenfrequenz der Schwingung in X1-Richtung ($\sin \Delta = 0^\circ$, $\cos \Delta = 90^\circ$) entsprechen. Entsprechende Ausgangssignale der Modulatoren 48, 49 werden in einer Addierstufe 50 addiert, deren Ausgangssignal sowohl einem dritten Kraft-Spannungswandler 51 als auch einem vierten Kraft-Spannungswandler 52 zugeführt wird. Die entsprechenden Ausgangssignale der Kraft-Spannungswandler

Spannungswandler 51, 52 werden Digital/Analog-Umwandlern 53, 54 zugeführt, wobei deren analoge Ausgangssignale die zweiten Anregungselektroden 10₂ bis 10₃ beaufschlagen und die Schwingungsamplituden des zweiten Schwingers 4 rückstellen.

5 Das durch die zweiten Anregungselektroden 10₁ und 10₄ erzeugte elektrostatische Feld (bzw. die beiden durch die Elektrodenpaare 10₁, 10₃ und 10₂, 10₄ erzeugten elektrostatischen Felder) bewirkt eine Ausrichtungs-/Positionsänderung des zweiten Schwingers 4 in der X2-Richtung und damit eine Änderung der Ausrichtungen der zweiten Federelemente 6₁ bis 6₂. Der vierte Regler 47 regelt das die zweiten Anregungselektroden 10₁ und 10₄ beaufschlagende Signal derart, dass der Quadraturbias, der im Kompensationssignal des vierten Reglers 47 enthalten ist, möglichst klein wird bzw. verschwindet. Dazu werden ein fünfter Regler 55, ein fünfter und sechster Kraft-Spannungswandler 56, 57 und zwei Analog/Digital-Umwandler 58, 59 eingesetzt.

15 Das Ausgangssignal des vierten Reglers 47, das ein Maß für den Quadraturbias ist, wird dem fünften Regler 55 zugeführt, der das durch die beiden Anregungselektroden 10₁ und 10₄ erzeugte elektrostatische Feld so regelt, dass der Quadraturbias B_Q verschwindet. Dazu wird ein Ausgangssignal des fünften Reglers 55 jeweils dem fünften und sechsten Kraft-Spannungswandler 56, 57 zugeführt, die aus dem digitalen Kraft-Ausgangssignal des fünften Reglers digitale Spannungssignale erzeugen. Diese werden anschließend in den Analog/Digital-Umwandlern 58, 59 in analoge Spannungssignale umgewandelt. Das analoge Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 58 wird der zweiten Anregungselektrode 10₁ oder alternativ 11₁ zugeführt. Das analoge Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 59 wird der zweiten Anregungselektrode 10₄ oder alternativ 11₂ zugeführt.

25 Da die Einspannung des zweiten Schwingers 4 lediglich durch die zweiten Federelemente 6₁ bis 6₂ bewirkt wird (einseitige Einspannung), kann die Ausrichtung dieser Federelemente durch das elektrostatische Feld problemlos geändert werden. Weiterhin ist es möglich, zusätzliche zweite Federelemente vorzusehen, die eine zweiseitige Einspannung des zweiten Schwingers 4 bewirken, solange durch entsprechende Auslegung dieser zusätzlichen Federelemente sichergestellt ist, dass effektiv eine einseitige Einspannung erzielt wird. Um denselben Effekt auch für die Federelemente 5₁, 5₂ bzw. die Federelemente 5₃, 5₄ zu ermöglichen, können das dritte und vierte Federelement 5₃, 5₄ bzw. das erste und zweite Federelement 5₁, 5₂ weggelassen werden und damit (zusammen mit einer hier nicht gezeigten, entsprechend geänderten Elektrodenkonfiguration) eine einseitige Einspannung des ersten Schwingers 3 bewirkt werden. In einem derartigen Fall könnte der zweite Swinger 4 auch mit weiteren Federelementen am ersten Swinger befestigt werden, um eine zweiseitige Einspannung zu erzielen.

Die in den Fig. 1 und 2 gezeigten Elektrodenanordnungen können variiert werden. Beispielsweise können die in Figuren 1 und 2 mit dem Bezugszeichen 8₁, 9₁, 9₂, 8₂ sowie 8₃, 9₃, 9₄, 8₄ gekennzeichneten Elektroden alternativ jeweils zu einer Elektrode zusammengefasst werden. Durch Verwendung geeigneter Trägerfrequenzverfahren können einer so zusammengefassten Elektrode mehrere Aufgaben zugeordnet werden, d. h. die Elektrode hat gleichzeitig Auslese-, Erregungs- und Kompensationsfunktion. Auch die mit dem Bezugszeichen 11₁, 10₁, 10₃ sowie 11₂, 10₂ und 10₄ gekennzeichneten Elektroden können alternativ zu jeweils einer Elektrode zusammengefasst werden.

In der folgenden Beschreibung soll unter Bezugnahme auf Fig. 3 eine weitere mögliche Ausführungsform des erfindungsgemäßen Corioliskreisels sowie dessen Funktionsweise näher beschrieben werden.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines gekoppelten Systems 1' aus einem ersten Resonator 70₁ und einem zweiten Resonator 70₂. Der erste Resonator 70₁ ist mit dem zweiten Resonator 70₂ über ein mechanisches Kopplungselement 71, eine Feder, gekoppelt. Der erste und der zweite Resonator 70₁, 70₂ sind in einem gemeinsamen Substrat ausgebildet und können entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse 72 gegentaktig zueinander in Schwingung versetzt werden. Der erste und der zweite Resonator 70₁, 70₂ sind identisch und werden über eine Symmetriearchse 73 aufeinander abgebildet. Der Aufbau des ersten und des zweiten Resonators 70₁, 70₂ wurde bereits im Zusammenhang mit Fig. 1 und 2 erläutert und wird deshalb nicht nochmals erklärt; identische bzw. einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen sind mit den gleichen Bezugsziffern gekennzeichnet, wobei identische Bauteile, die unterschiedlichen Resonatoren angehören, mit unterschiedlichen Indices gekennzeichnet sind.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen den in Fig. 3 gezeigten Doppelschwingern und den in Fig. 1 und 2 gezeigten Doppelschwingern ist, dass einige der Einzelelektroden konstruktiv zu einer Gesamtelektrode zusammengefasst werden. So bilden beispielsweise die mit den Bezugsziffern 8₁, 8₂, 9₁ und 9₂ gekennzeichneten Einzelelektroden in Fig. 3 eine gemeinsame Elektrode. Weiterhin bilden die mit den Bezugsziffern 8₃, 8₄, 9₃ und 9₄ gekennzeichneten Einzelelektroden eine gemeinsame Elektrode, und die mit den Bezugsziffern 10₄, 10₂, 11₂ sowie den Bezugsziffern 11₁, 10₃ und 10₁ jeweils eine Gesamtelektrode. Das Gleiche gilt analog für das andere Doppelschwingersystem.

Bei Betrieb des erfindungsgemäßen gekoppelten Systems 1' schwingen die beiden Resonatoren 70₁, 70₂ entlang der gemeinsamen Schwingungsachse 72 im Gegentakt. Damit ist das gekoppelte System 1' unempfindlich gegenüber externen Störungen bzw. gegen-

über Störungen, die durch das gekoppelte System 1' selbst in das Substrat, in dem die Resonatoren 70₁ und 70₂ gelagert sind, abgegeben werden.

Wenn das gekoppelte System 1' gedreht wird, so werden die zweiten Schwinger 4₁ und 4₂ 5 in zueinander entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt (in X2-Richtung und entgegengesetzt zur X2-Richtung). Tritt eine Beschleunigung des gekoppelten Systems 1' auf, so werden die zweiten Schwinger 4₁, 4₂ jeweils in die gleiche Richtung, nämlich in Richtung der Beschleunigung, ausgelenkt, insofern diese in oder entgegengesetzt der X2-Richtung wirkt. Somit lassen sich gleichzeitig oder wahlweise Beschleunigungen und Drehungen 10 messen.

Prinzipiell ist es möglich, das gekoppelte System 1' auf Basis der in Fig. 1 und 2 beschriebenen Auswerte-/Anregungselektronik 2 zu betreiben. In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform wird jedoch stattdessen ein alternatives Verfahren (Trägerfrequenzverfahren) 15 eingesetzt. Dieses Betriebsverfahren soll im Folgenden beschrieben werden.

Die mit Bezugsziffer 2' gekennzeichnete Auswerte-/Anregungselektronik 2 weist drei Regelkreise auf: Einen ersten Regelkreis zur Anregung bzw. Regelung einer Gegentaktschwingung der ersten Schwinger 3₁ und 3₂ entlang der gemeinsamen Schwingungsachse 72, einen zweiten Regelkreis zur Rückstellung und Kompensation der Schwingungen 20 des zweiten Schwingers 4₁ entlang der X2-Richtung, und einen Regelkreis zur Rückstellung und Kompensation der Schwingungen des zweiten Schwingers 4₂ entlang der X2-Richtung. Die beschriebenen drei Regelkreise weisen einen Verstärker 60, einen Analog/Digital-Umwandler 61, ein Signaltrennungsmodul 62, ein erstes bis drittes Demodulationsmodul 63₁ bis 63₃, ein Regelmodul 64, ein Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65, ein Trägerfrequenz-Additionsmodul 67, sowie einen ersten bis 25 sechsten Digital/Analog-Umwandler 66₁ bis 66₆ auf.

Die Beaufschlagung der Elektroden 8₁ bis 8₈, 9₁ bis 9₈, 10₁ bis 10₈ sowie 11₁ bis 30 11₄ mit Trägerfrequenzen zum Abgriff/Erregung (Abgriffserregung) der Gegentaktschwingung der Schwingungen der zweiten Schwinger 4₁, 4₂ kann hierbei auf mehrerlei Art und Weise erfolgen: a) Unter Verwendung von drei unterschiedlichen Frequenzen, wobei jedem Regelkreis eine Frequenz zugeordnet ist, b) unter Verwendung von Rechtecksignalen im Zeitmultiplex-Verfahren, oder 35 c) unter Verwendung einer Random-Phasen-Verwürfelung (stochastisches Modulationsverfahren). Die Beaufschlagung der Elektroden 8₁ bis 8₈, 9₁ bis 9₈, 10₁ bis 10₈ sowie 11₁ bis 11₄ erfolgt über die zusammengehörigen Signale UyAo, UyAu (für den zweiten Schwinger 4₁) und Uxl, Uxr (für die Gegentaktresonanz von den ersten Schwingern 3₁ zu 3₂), sowie UyBu, und UyBo (für den zweiten

Schwinger 4₂), die in dem Trägerfrequenz-Additionsmodul 67 erzeugt und im Gegentakt mit o.g. Frequenzsignalen erregt werden. Der Abgriff der Schwingungen der ersten und zweiten Schwinger 3₁, 3₂, 4₁ und 4₂ erfolgt über die mit Bezugsziffern 7₇, 7₉, 7₁₁ und 7₁₃ gekennzeichneten Teile des Kreiselrahmens, die hier neben ihrer Funktion als Aufhängepunkte des Massensystems zusätzlich als Abgriffselektroden dienen. Dazu sind die beiden Resonatoren 70₁, 70₂ mit allen Rahmen-, Feder- und Verbindungselementen vorteilhafterweise elektrisch leitend ausgestaltet. Das durch die Kreiselrahmen-Teile 7₇, 7₉, 7₁₁ und 7₁₃ abgegriffene, dem Verstärker 60 zugeführte Signal enthält Information über alle drei Schwingungsmoden und wird durch den Analog/Digital-Umwandler 61 in ein digitales Signal umgewandelt, das dem Signaltrennungsmodul 62 zugeführt wird. In dem Signaltrennungsmodul 62 wird das zusammengesetzte Signal in drei unterschiedliche Signale getrennt: x (enthält Information über die Gegentaktschwingung), yA (enthält Information über die Auslenkung des zweiten Schwingers 4₁), sowie yB (enthält Information über die Auslenkung des zweiten Schwingers 4₂). Die Signaltrennung gestaltet sich je nach Typ des verwendeten Trägerfrequenzverfahrens (siehe oben a) bis c)) unterschiedlich. Die Signaltrennung erfolgt hierbei durch Demodulation mit dem entsprechenden Signal des verwendeten Trägerfrequenzverfahrens. Die Signale x, yA, sowie yB werden den Demodulationsmodulen 63₁ bis 63₃ zugeführt, die diese mit einer Arbeitsfrequenz der Gegentaktschwingung für 0° und 90° demodulieren. Das Regelmodul 64 sowie das Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65 zur Regelung/Berechnung der Signale Fx1/r bzw. Ux1/r sind vorzugsweise analog zu dem in Fig. 1 gezeigten Elektronikmodul 2 ausgestaltet. Das Regelmodul 64 sowie das Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65 zur Regelung/Berechnung der Signale FyAo/u, UyAo/u, sowie FyBo/u, UyBo/u sind vorzugsweise analog zu dem in Fig. 2 gezeigten Elektronikmodul 2 ausgestaltet; nur die Signale für die Rückstellung der Drehrate und der Quadratur nach der Multiplikation mit der Arbeitsfrequenz werden zusammen mit den DC-Spannungen für den Quadratur-Hilfsregler auf ein zusammengefaßtes Elektrodenpaar gegeben. Deshalb werden beide Signale addiert, so dass die Berechnung der Elektrodenspannungen die Rückstellsignale der Schwingfrequenz und das DC-Signal für die Quadraturregelung sowie die Frequenzabstimmung enthält. Die so berechneten Elektrodenspannungen Ux1/r, UyAo/u und UyBo/u werden dann zu den Trägerfrequenz-Signalen addiert und gemeinsam über die Analog/Digital-Umwandler 66₁ bis 66₆ auf die Elektroden gegeben.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des mit Bezugsziffer 64 gekennzeichneten Regelsystems aus Fig. 3. Das Regelsystem 64 weist einen ersten bis dritten Teil 64₁ bis 64₃ auf. Der erste Teil 64₁ weist einen ersten Regler 80, einen Frequenzgenerator 81, einen zweiten Regler 82, eine Elektronikkomponente 83, 5 eine Addierstufe 84, und einen Multiplizierer 85 auf. Die Funktionsweise des ersten Teils entspricht im Wesentlichen der Funktionsweise des in Fig. 1 gezeigten Elektronikmoduls 2 und wird deshalb hier nicht nochmals erläutert. Der zweite Teil 64₂ weist einen ersten Regler 90, einen ersten Modulator 91, einen zweiten Regler 92, einen zweiten Modulator 93 und einen dritten Regler 94 auf. Ferner 10 sind eine erste und eine zweite Addierstufe 95, 96 vorgesehen. Am Ausgang des ersten Reglers 90 kann ein Drehratensignal Ω , und am Ausgang des dritten Reglers 94 kann ein zusammengesetztes Signal aus einem Quadraturbias B_Q und einer Beschleunigung A ermittelt werden. Der dritte Teil 64₃ des Regelsystems 64 weist einen ersten Regler 100, einen ersten Modulator 101, einen zweiten Regler 102, einen zweiten Modulator 103 und einen dritten Regler 104 auf. Weiterhin 15 sind eine erste und eine zweite Addierstufe 105, 106 vorgesehen. Am Ausgang des ersten Reglers 100 kann ein Drehratensignal Ω mit negativem Vorzeichen abgegriffen werden, und am Ausgang des dritten Reglers 104 ein zusammengesetztes Signal aus dem Quadraturbias B_Q mit negativem Vorzeichen und einem Beschleunigungssignal A. Die Funktionsweise des zweiten und dritten Teils 64₂ 20 und 64₃ entspricht der des in Fig. 2 gezeigten Elektronikmoduls 2 und wird deshalb hier nicht nochmals erläutert.

Die oben beschriebenen Trägerfrequenzverfahren mit Gegentakterregung haben den Vorteil, dass an dem Verstärker 60 nur dann ein Signal anliegt, wenn die linearen Schwingen 25 3₁, 3₂ sowie 4₁ und 4₂ ausgelenkt sind. Die zur Erregung dienenden Frequenzsignale können diskrete Frequenzen oder rechteckige Signale sein. Wegen der leichteren Erzeugung und Verarbeitung werden Rechteckerregungen bevorzugt.

30 Lineare Doppelschwinger zeichnen sich durch besonders hohe Güte wegen der linearen Bewegung in der Waferebene aus. Die Kompensation des Quadraturbias bei linearen Resonatoren, bei denen mindestens ein Schwinger einseitig eingespannt ist, lässt sich erfundungsgemäß global durch Justieren der Orthogonalität der Federn erreichen. Das wird dadurch erzielt, dass die Feder des einseitig eingespannten Schwingers über eine Gleichspannung im Winkel so verändert wird, dass der gemessene Quadraturbias B_Q Null wird. 35 Dazu wird, wie oben gezeigt, ein entsprechender Regelkreis aufgeschaltet, der die o. g. Gleichspannung so regelt, dass $B_Q = 0$ wird. Durch diesen Regelkreis wird der Quadraturbias am Entstehungsort kompensiert und die Genauigkeit von linearen Schwingkreisen um Größenordnungen verbessert.

Die linearen Schwingen eines Resonators werden vorzugsweise jeweils in Doppelresonanz betrieben.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwin-

5 ger (3, 4) ausgestaltet ist, mit den folgenden Schritten:

- Ermitteln des Quadraturbias des Corioliskreisels,
- Erzeugen eines elektrostatischen Felds zur Änderung der gegenseitigen Ausrich-
- tung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander, wobei die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst

10 klein wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektrostatische Feld eine Änderung der Ausrichtung erster Federelemente (5₁ bis 5₄), die den ersten Schwinger (3) mit einem Kreiselrahmen (7₃, 7₄) des Corioliskreisels verbinden, und/oder eine Änderung der Ausrichtung zweiter Federelemente (6₁, 6₂), die den ersten Schwinger (3) mit dem zweiten Schwinger (4) koppeln, bewirkt.

15

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausrichtung der ersten Federelemente (5₁ bis 5₄) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des ersten Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld geändert wird, und dass die Ausrich-

20 tung der zweiten Federelemente (6₁, 6₂) geändert wird, indem die Position/Ausrichtung des zweiten Schwingers (4) durch das elektrostatische Feld geändert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das elektri-

25 sche Feld eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federele-

mente (6₁, 6₂, 5₁ bis 5₄), zueinander bewirkt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch die zweiten Federelemente

30 (6₁, 6₂) einseitig befestigt/eingespannt ist und/oder der erste Schwinger (3) an einem Kreiselrahmen des Corioliskreisels durch die ersten Federelemente (5₁ bis 5₄) einseitig befestigt/eingespannt ist.

6. Corioliskreisel, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten

35 und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist,

gekennzeichnet durch

- eine Einrichtung zur Erzeugung eines elektrostatischen Felds (11₁', 11₂', 10₁ bis 10₄) durch das die Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander änderbar ist,

- eine Einrichtung (45, 47) zur Ermittlung eines Quadraturbias des Corioliskreisels, und
- einen Regelkreis (55, 56, 57), durch den die Stärke des elektrostatischen Felds in Abhängigkeit des ermittelten Quadraturbias so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

5 7. Corioliskreisel nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste
Schwinger (3) durch erste Federelemente (5₁ bis 5₄) mit einem Kreiselrahmen (7₁, 7₂) des
Corioliskreisels verbunden ist, und der zweite Schwinger (4) durch zweite Federelemente
10 (6₁ bis 6₂) mit dem ersten Schwinger (3) verbunden ist.

15 8. Corioliskreisel nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten und
zweiten Federelemente so angeordnet/ausgestaltet sind, dass ein Ausrichtungswinkel der
ersten Federelemente (5₁ bis 5₄) bezüglich des Kreiselrahmens (7₃, 7₄) durch das elektro-
statische Feld änderbar ist, und/oder dass ein Ausrichtungswinkel der zweiten Feder-
elemente (6₁, 6₂) bezüglich des ersten Schwingers (3) durch das elektrostatische Feld än-
derbar ist.

20 9. Corioliskreisel nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zwei-
te Schwinger (4) an dem ersten Schwinger (3) durch die zweiten Federelemente (6₁, 6₂)
einseitig befestigt/eingespannt ist und/oder der erste Schwinger (3) an einem Kreisel-
rahmen des Corioliskreisels durch die ersten Federelemente (5₁ bis 5₄) einseitig befe-
stigt/eingespannt ist.

25 10. Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**,
dass sämtliche zweiten Federelemente (6₁ bis 6₂), die den zweiten Schwinger (4) mit dem
ersten Schwinger (3) verbinden, so ausgestaltet sind, dass eine Krafteinleitung von dem
ersten Schwinger (3) auf den zweiten Schwinger (4) im Wesentlichen von einer Seite des
ersten Schwingers (3) aus erfolgt.

30 11. Corioliskreisel nach einem der Ansprüche 7 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**,
dass sämtliche ersten Federelemente (5₁ bis 5₄), die den ersten Schwinger (3) mit dem
Kreiselrahmen (7₃, 7₄) des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zuein-
ander angeordnet sind, wobei die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente (5₁
35 bis 5₄) jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen.

12. Corioliskreisel (1'), mit einem ersten und einem zweiten Resonator (70₁, 70₂), die
jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger
(3₁, 3₂, 4₁, 4₂) ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator (70₁) mit dem zweiten Resona-

tor (70₂) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungssachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbare sind.

5 **13.** Corioliskreisel (1') nach Anspruch 12, **gekennzeichnet durch:**
- eine Einrichtung zur Erzeugung von elektrostatischen Feldern (11₁, 11₂, 10₁ bis 10₄, bzw. 11₃, 11₄, 10₅ bis 10₈), durch die die Ausrichtung der linearen Schwinger (3₁, 3₂, 4₁, 4₂) zueinander veränderbar ist,
- eine Einrichtung zur Ermittlung des Quadraturbias des Corioliskreisels (1'), und
10 - Regalkreise (64), durch die die Stärken der elektrostatischen Felder so geregelt werden, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

15 **14.** Corioliskreisel (1') nach Anspruch 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators (70₁, 70₂) identisch sind, wobei die Resonatoren (70₁, 70₂) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetriearchse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungssachse (72) steht.

20 **15.** Corioliskreisel (1') nach einem der Ansprüche 12 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ersten Schwinger (3₁, 3₂) jeweils durch erste Federelemente (5₁ - 5₈) mit einem Kreiselrahmen (7₁ - 7₁₄) des Corioliskreisels verbunden, und die zweiten Schwinger (4₁, 4₂) durch zweite Federelemente (6₁ - 6₄) jeweils mit einem der ersten Schwinger (3₁, 3₂) verbunden sind.

Zusammenfassung**Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel
sowie dafür geeigneter Corioliskreisel**

5

Bei einem Verfahren zur Quadraturbias-Kompensation in einem Corioliskreisel, dessen Resonator (1) als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3, 4) ausgestaltet ist, wird der Quadraturbias des Corioliskreisels ermittelt. Dann wird ein elektrostatisches Feld zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Schwinger (3, 4) zueinander erzeugt, wobei die Ausrichtung/Stärke des elektrostatischen Felds so geregelt wird, dass der ermittelte Quadraturbias möglichst klein wird.

10

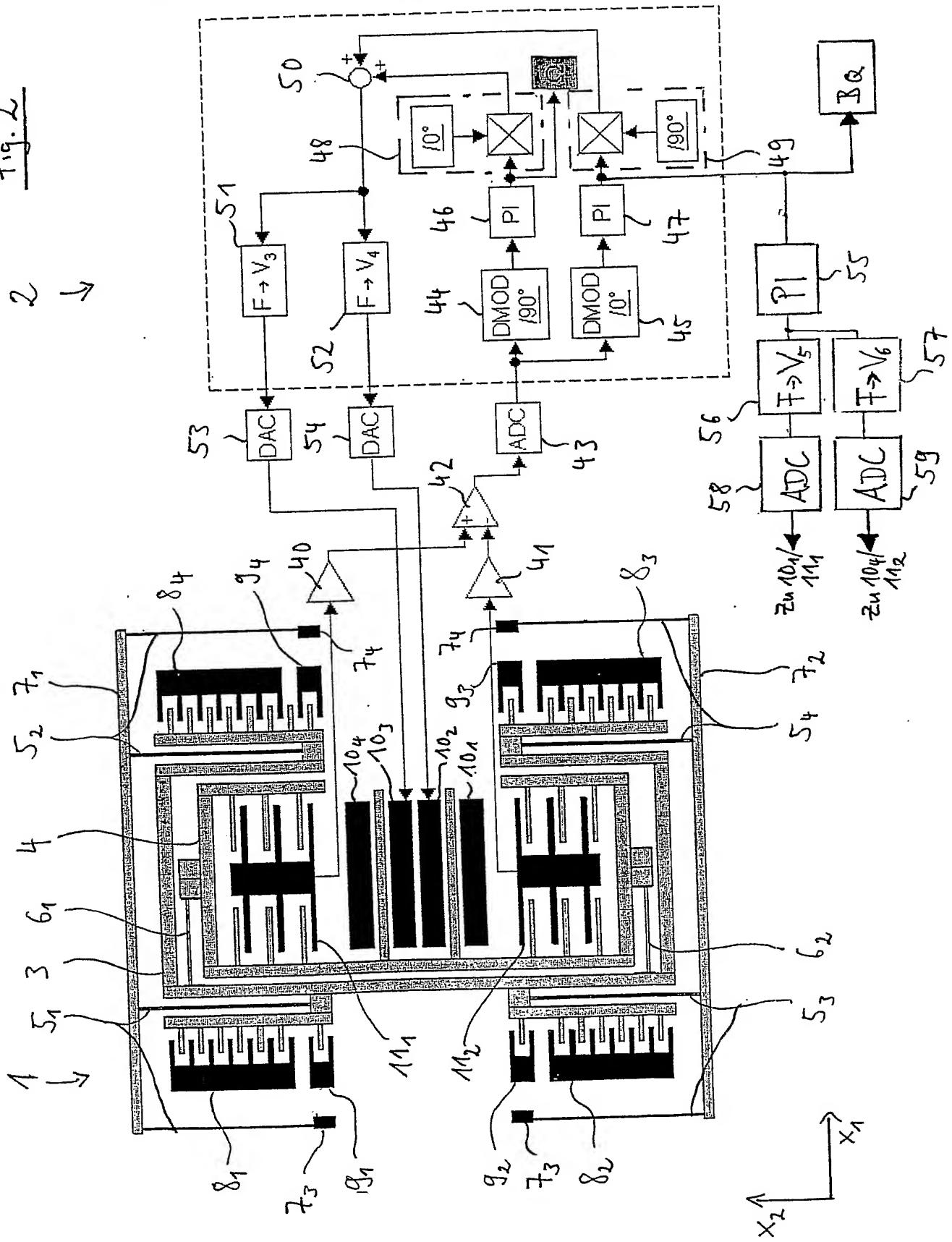
(Fig. 2)

15

Figur für die Zusammenfassung

Fig. 2

2 →



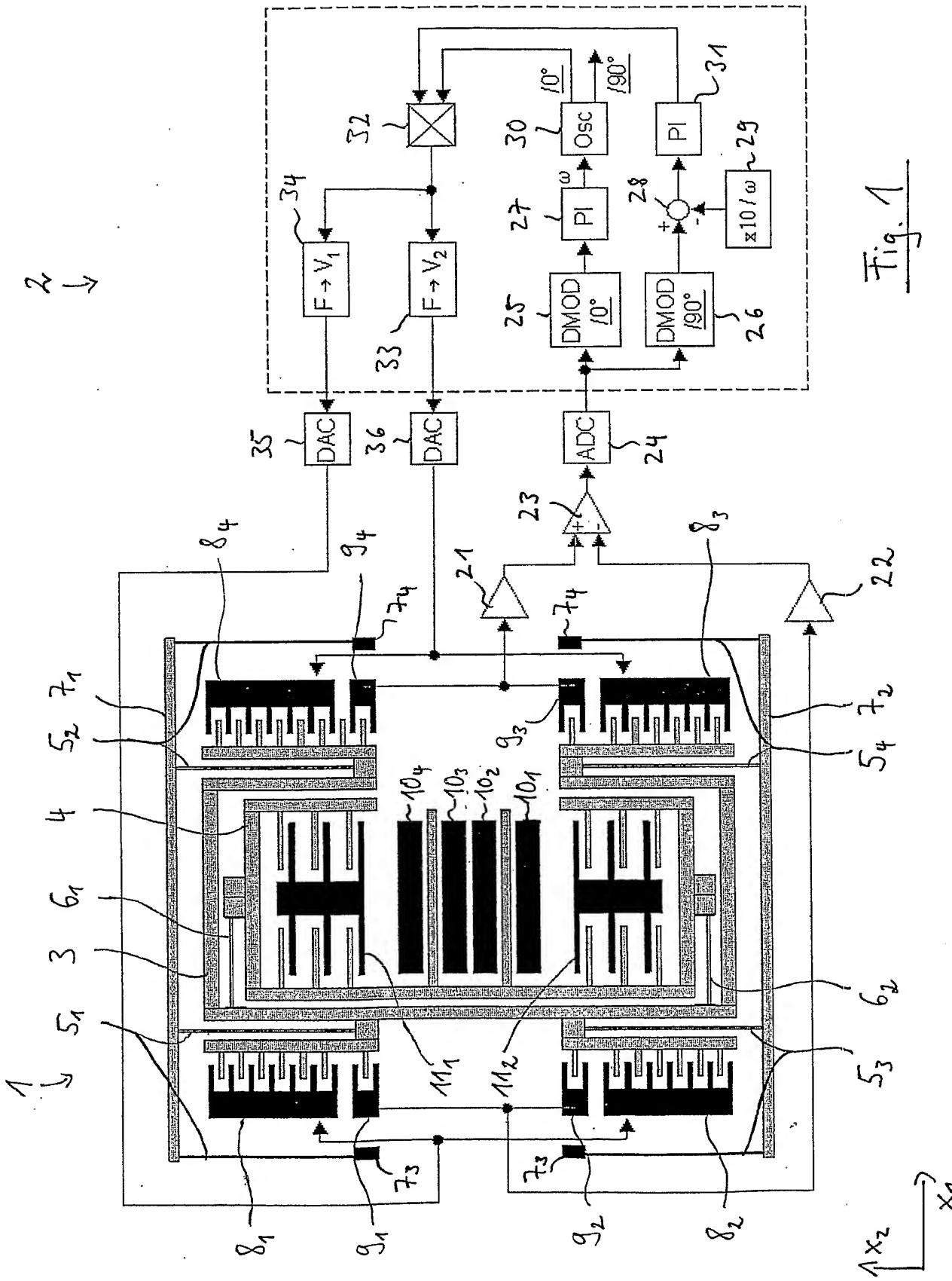
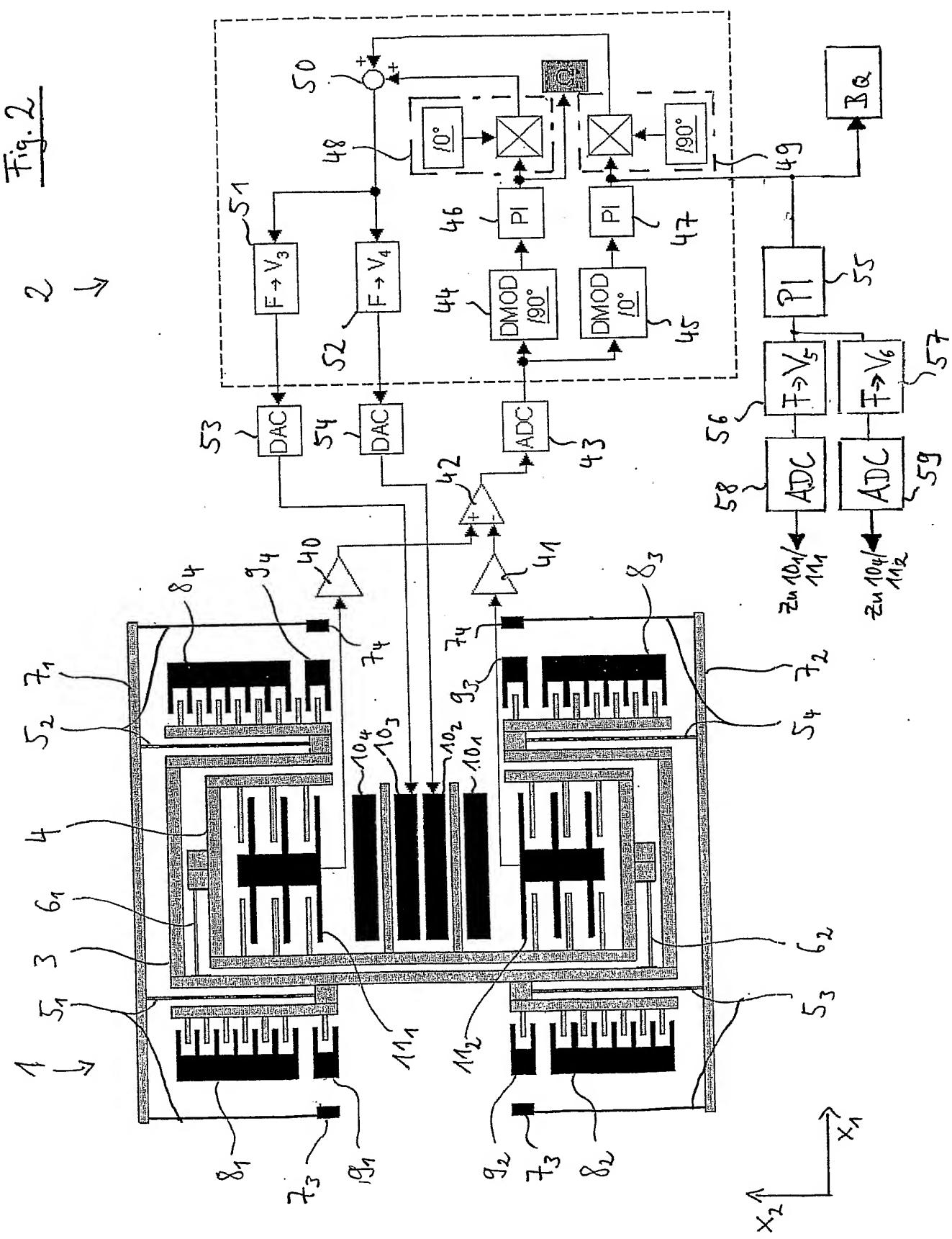
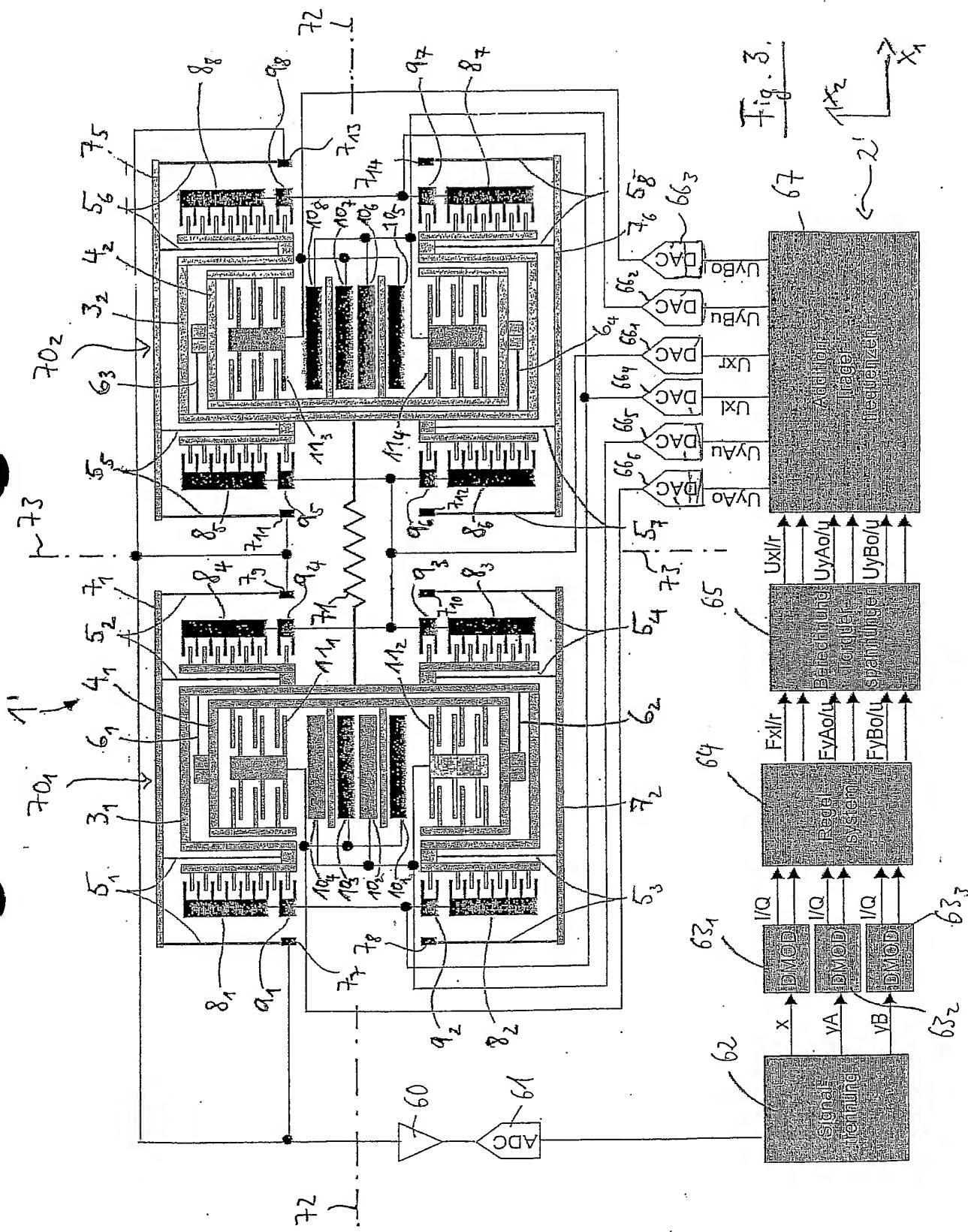
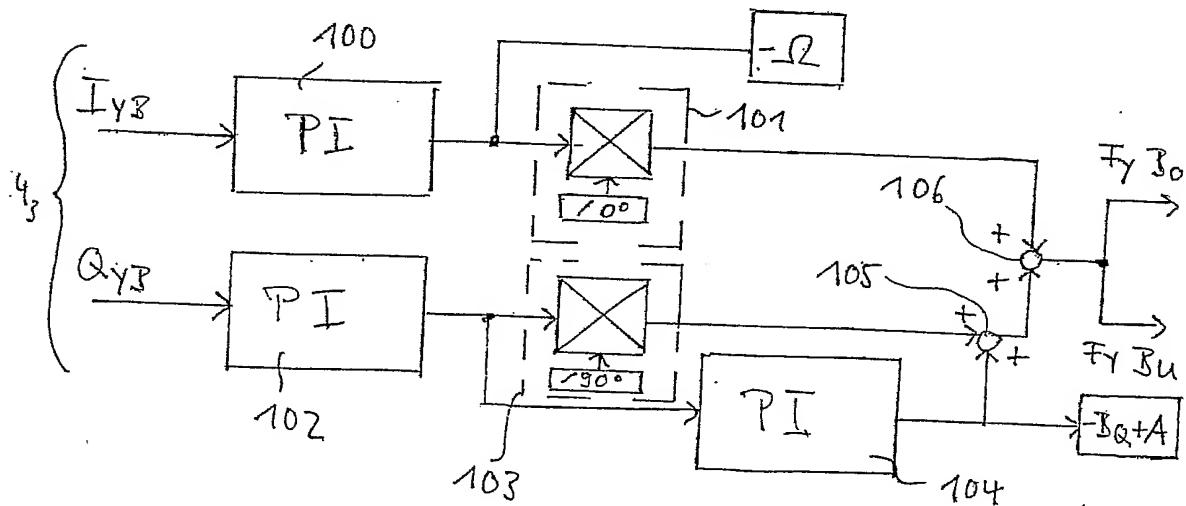
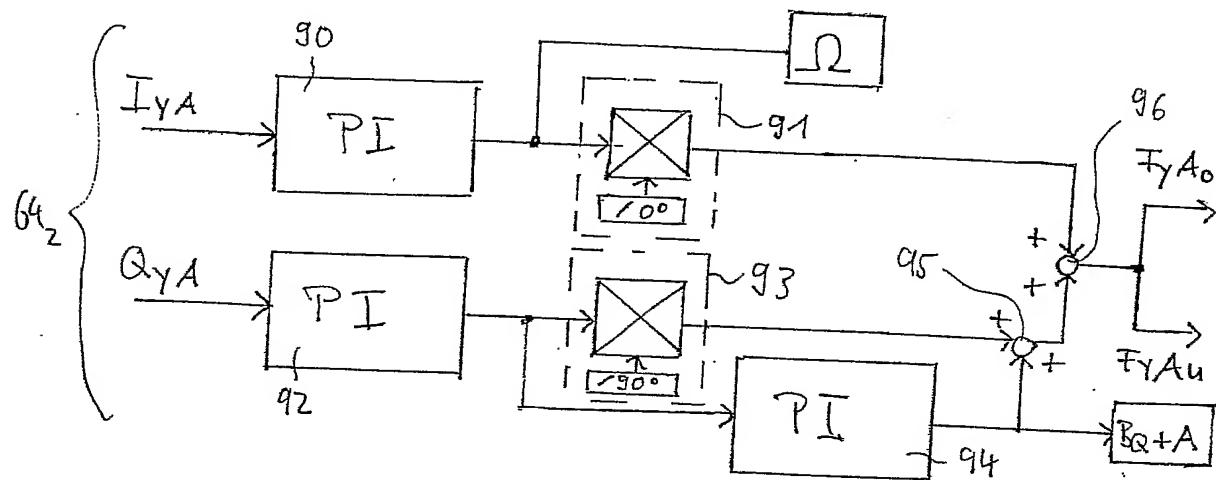
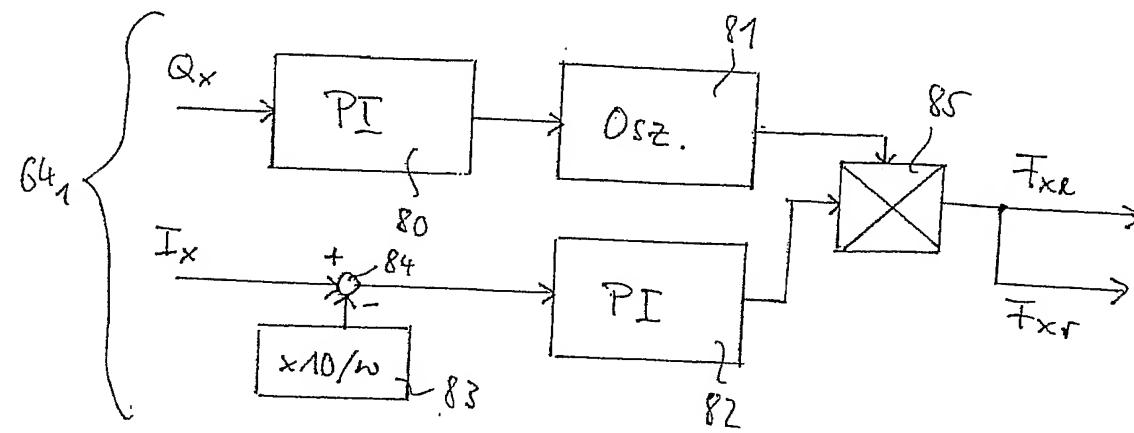


Fig. 2

2





Fig. 4